

MARIAN SMOLUCHOWSKI  
(1872–1917)





arian Smoluchowski urodził się 28 maja 1872 r. w Vorderbrühl pod Wiedniem, jego ojciec był wysokim urzędnikiem w kancelarii cesarza Franciszka Józefa. Po ukończeniu (z wyróżnieniem) wiedeńskiego Collegium Theresianum, wówczas jednej z najlepszych szkół europejskich, w r. 1890 rozpoczął studia fizyczne w Uniwersytecie Wiedeńskim. W r. 1895 uzyskał doktorat sub auspiciis Imperatoris (i otrzymał brylantowy pierścion — najwyższe wówczas wyróżnienie z tytułu zakończenia edukacji szkolnej i uniwersyteckiej).

Po studiach dwa lata spędził w różnych laboratoriach europejskich: w Paryżu, w Glasgow i w końcu w Berlinie, gdzie rozpoczął prace nad kinetyczną teorią gazów. W r. 1897 powrócił do Wiednia, gdzie uzyskał *veniam legendi*. Niemal zaraz potem objął w Uniwersytecie Lwowskim katedrę fizyki teoretycznej, zostając najmłodszym profesorem (w r. 1903 — profesorem zwyczajnym) w całej monarchii habsburskiej. W r. 1901 ożenił się z Zofią Baraniecką. W r. 1913 objął po Augustie Witkowskim Katedrę Fizyki Doświadczalnej w Uniwersytecie Jagiellońskim. W latach 1916–1917 pełnił tu obowiązki dziekana. Tuż przed śmiercią wybrany został na rektora Uniwersytetu Jagiellońskiego.

Marian Smoluchowski: fizyk, alpinista i narciarz. Przez całe życie bardzo interesował się muzyką, którą uprawiał amatorsko. Inną jego życiową pasją były góry. Dla Smoluchowskiego wspinaczka była czymś więcej niż tylko sportem, świadczył o tym jego własne słowa:

Z tego, co dały mi góry, trzy rzeczy uważam za najcenniejsze: przyzwyczajenie do podejmowania trudnych zadań, radość z przewyższania trudności, zdolność do upiększania codziennego życia przez najwznioślejszą poezję: poezję świata gór.

Może dzięki temu jego udziałem stało się odkrywanie nowych dróg — w fizyce, w alpinizmie i w narciarstwie.

W czasach studenckich, w latach 90. zeszłego wieku, bracia Tadeusz i Marian Smoluchowscy wytyczyli dwadzieścia cztery nowe, rekordowe wówczas drogi w Alpach Wschodnich (Dolomity, Ortler, Rieserferner). Mieli na koncie szesnaście pierwszych wejść szczytowych, m.in. Sas del Lec (2959 m) w Dolomitach, Schluderszahn (3255 m) w grupie Ortleru, Zehner (2917 m) w grupie Sella (Dolomity). Jednym z ich wybitnych osiągnięć było pierwsze trawersowanie (wejście z jednej doliny, zejście w inną) bardzo trudnej turni Fünffingerspitze (dziś Punta delle Cinque Dita). Ich pokolenie, żyjące w atmosferze „burzy i naporu”, zrewolucjonizowało alpinizm, to oni bowiem, młodzi wspinacze zgromadzeni w Akademickim Związku Alpejskim w Wiedniu i znajdujący się pod wpływem idei głoszonych przez wielkiego alpinistę tamtych czasów Emila Zsigmondyego, zapoczątkowali chodzenie w góry bez przewodnika-górala. Później, aż do r. 1909, Marian Smoluchowski wspinał się wielokrotnie w Alpach szwajcarskich (Alpy Wallijskie i Berneńskie), zdobywając wiele szczytów, m.in. legendarny wówczas Matterhorn (4482 m), drugi pod względem wysokości szczyt

alpejski Monte Rosa (4638 m), Dent Blanche (4364 m), Zinalrotthorn (4223 m), Finsteraarhorn (4275 m), by wymienić tylko najslawniejsze, najwyższe i najtrudniejsze. Wspinał się też w górach Szkocji (w 1908 r.), a potem, w latach 1910–1916, w Tatrach (m.in. przejście granią Smoczego Szczytu). Był czynnym członkiem i działaczem (prezesem w latach 1911–1912) pierwszego polskiego klubu wysokogórskiego — Sekcji Turystycznej Towarzystwa Tatrzańskiego. Historyk taternictwa, J. A. Szczepański, napisze później: „Zaznaczył się wśród nich [tj. członków STTT] dobrym stylem wspinaczek wielki uczony Marian Smoluchowski”.

W czasach lwowskich bracia Smoluchowscy brali udział w pionierskich wyprawach narciarskich w słabo zaludnione wówczas Karpaty Wschodnie: Gorgany (m.in. Sywula) i Karpaty Marmaroskie (Mihailecul i Facaul). Dziś, gdy na nartach chodzi się na bieguny, nie brzmi to może zbyt efektownie, ale wówczas przecież o zimowej turystyce narciarskiej nic jeszcze nie wiadano, podobnie zresztą jak w fizyce nie wiadano jeszcze zbyt wiele o atomistycznej budowie materii. Wówczas owe wyprawy to było:

Zaprzepaszczenie się zupełne w pustkowiu górskim na dnie całe, biwakowanie przez długie noce zimowe pod gołym niebem, szukanie przejścia przez chaos szczytów, których nikt nie znał i nikt nie opisał — wszystko w oddali od ludzkich siedzib, bez możliwości zaprowadzania się, a więc z koniecznością dźwigania wszystkiego na własnych barkach. Miały te wycieczki już coś więcej z wypraw w nieznane kraje niż z normalnych przyjemności narciarskich i turystycznych.<sup>1</sup>

Marian Smoluchowski pisał zaś potem w „Taterniku” (1913) tak:

Pociągała nas właśnie tajemniczość owych trudno dostępnych, nigdy jeszcze przez narciarzy nie zwiedzanych stron. Nęciły nas owe szczyty, należące do najwyższych wzniesień Karpat, którym nigdy, nawet w lecie, nie mieliśmy jeszcze sposobności z bliska się przypatrzeć. [...] Sceneria iście alpejska, jaką niełatwo spotkać gdzie indziej w Karpatach. Stromy przepaścisty stok, poprzerywany czarnymi skalistymi ścianami, ciągnący się wzdłuż całego długiego grzbietu Mihailecula, a nad nim zwieszające się olbrzymie nawisy, rzucające długie niebieskawe cienie na strome śniegi owego stoku. [...] Stajemy na szczycie z poczuciem, że warto było jechać tak daleko [...] widzimy teraz po sobą owe kotliny, [...] świetny teren dla narciarstwa sportowego.

Marian Smoluchowski uprawiał również później — aż do swej przedwczesnej śmierci — narciarstwo w Beskidach Zachodnich i w Tatrach. Działal też w polskich organizacjach narciarskich i pisywał na tematy narciarskie oraz alpinistyczne.

W historii fizyki Marian Smoluchowski ma zapewnione miejsce jako ten, który położył zasadnicze zasługi w dowodzeniu prawdziwości atomistycznej budowy materii. Arnold Sommerfeld napisał po jego śmierci: „Jego imię będzie na zawsze kojarzone z pierwszym rozkwitem teorii atomistycznej”. Trzeba tu przypomnieć — o czym dziś się już na ogół nie pamięta — że kiedyś „hipoteza molekularna”

<sup>1</sup> Ze sprawozdania Wydziału Karpackiego Towarzystwa Narciarzy za r. 1909/1910.

wymagała dowodów i że pierwsze dowody eksperymentalne były oparte na stworzonej przez Smoluchowskiego teorii ruchów Browna i fluktuacji.

A jednak dzieło Mariana Smoluchowskiego, którego bez przesady czy zbędnej emfazy możemy nazywać jednym z ojców fizyki statystycznej, to nie tylko historia. Podstawy teoretyczne i metody rachunkowe użyte we wspomnianych opracowaniach stały się podstawami fizyki statystycznej, w szczególności jej nowej gałęzi — teorii procesów stochastycznych. Po Marianie Smoluchowskim pozostały równania, będące do dziś przydatnym narzędziem fizyków, choć dzisiaj inaczej się te równania wyprowadza i inaczej rekonstruuje się ogólny schemat teorii. Ten aspekt dzieła Smoluchowskiego opisali m.in. matematyk Mark Kac i fizyk Subrahmanyan Chandrasekhar (laureat nagrody Nobla w r. 1983). Mark Kac<sup>2</sup>:

Podczas gdy cel był taki sam, jakże odmienne jest podejście Smoluchowskiego od metody Boltzmann'a. Nie ma tu dynamiki, przestrzeni fazowej, równania Liouville'a — krótko mówiąc, nie ma żadnych zwykłych zakotwiczeń mechaniki statystycznej. Smoluchowski zapewne nie był tego świadom, lecz to on rozpoczął pisanie nowego rozdziału fizyki statystycznej, znanego dziś jako teoria procesów stochastycznych. To właśnie podejście probabilistyczne, w kontraście do mechaniczno-statystycznego jest tak wyraźnie widoczne w pierwszej publikacji Smoluchowskiego o ruchach Browna i w pracy na temat średniej drogi swobodnej<sup>3</sup>, która tamtą poprzedziła. Jest to znakomita praca, w której po raz pierwszy, o ile wiem, ustanowiony został związek pomiędzy błędzeniem przypadkowym i dyfuzją (Bachelier, któremu zwykle się to przypisuje, przychodzi nieco później). Równie godnym podziwu jest fakt, że Smoluchowski użył tu transformat Fouriera, by traktować sploty rozkładów prawdopodobieństwa i w ten sposób jest pierwszym, który udowodnił szczególny przypadek centralnego twierdzenia granicznego teorii prawdopodobieństwa za pomocą funkcji charakterystycznych. [...] Nowość i oryginalność podejścia Smoluchowskiego leży w odważnym zastąpieniu niemożliwie trudnego problemu dynamicznego (ruch cząstki Browna w gazie lub w cieczy) [...] przez względnie prosty proces stochastyczny. Zjawisko dynamiczne, takie jak zderzenie na przykład, jest zatem traktowane tak, jak gdyby było wynikiem rzutu monetą lub kosią, przy czym prawdopodobieństwa różnych możliwych wyników są wyznaczane (do pewnego stopnia) przez prawa mechaniki. Ta idea okazała się ogromnie owocną i stopniowo przeniknęła większość fizyki statystycznej; przeniknęła w gruncie rzeczy tak dobrze, że bardzo niewielu z nas zdaje sobie dzisiaj sprawę z tego, że wiele z „nowoczesnej” problematyki można wyśledzić w ideach po raz pierwszy propagowanych przez Smoluchowskiego we wczesnych latach tego wieku.

Kac i Chandrasekhar uważają również, że to Smoluchowski pierwszy wprowadził do fizyki pojęcie fluktuacji<sup>4</sup>. Chandrasekhar:

Prace, które Smoluchowski opublikował w ostatnich pięciu latach życia, stworzyły podstawy współczesnej teorii procesów stochastycznych. [...] Dokładne porównania przewidywań tej teorii<sup>5</sup> z wynikami doświadczalnymi [...] uderzająco potwierdzają podstawowe założenia

---

<sup>2</sup> Przekład autora.

<sup>3</sup> Obie opublikowane w r. 1906.

<sup>4</sup> W badaniach rozpoczętych w 1904 r. Smoluchowski wykazał, że odpowiedzialnymi za opalescencję krytyczną i za błękitny kolor nieba są fluktuacje gęstości.

<sup>5</sup> Chodzi o teorię ruchów Browna w roztworach koloidalnych.

teorii. Lecz zapewne ważniejsze jest, iż mamy tu pierwszy przykład przypadku, w którym było możliwe prześledzenie, ze wszystkimi szczegółami, zarówno teoretycznie, jak i doświadczalnie, przejścia pomiędzy makroskopowo nieodwracalną naturą dyfuzji i mikroskopowo odwracalną naturą fluktuacji molekularnych.

Dziś wiemy, że całkowite równanie Bacheliera–Smoluchowskiego–Chapmana–Kolmogorowa, opisujące sposób składania prawdopodobieństw warunkowych  $W$ :

$$W(x, t|x_0, 0) = \int dx' W(x, t|x', \tau) W(x', \tau|x_0, 0); \quad t > \tau > 0$$

jest podstawową charakterystyką tzw. procesów Markowa. Równanie to nakłada ostre ograniczenia na prawdopodobieństwa warunkowe procesu markowskiego, w szczególności na ich zależność od czasu. Ukryte w oryginalnych wyprowadzeniach tego równania<sup>6</sup> założenia przypominają założenia ukryte w oryginalnym wyprowadzeniu równania Boltzmann. Mianowicie przyjmuje się tu, że prawdopodobieństwo warunkowe w danej chwili czasu zależy tylko od wartości prawdopodobieństwa w wybranej chwili początkowej, a nie zależy od wartości prawdopodobieństwa w chwilach wcześniejszych, nie zależy od historii. Podobnie w wyprowadzeniu równania Boltzmann przyjmuje się, że prawdopodobieństwo zajścia zderzenia nie zależy od wcześniejszych historii ruchu zderzających się cząstek — zaniedbuje się korelacje ruchu.

Z kolei kinetyczne równanie Smoluchowskiego (nazywane też — niepoprawnie — równaniem Fokkera–Plancka<sup>7</sup>), opisujące ewolucję czasową owych prawdopodobieństw,

$$\frac{\partial}{\partial t} W(x, t|x_0, 0) = \frac{\partial^2}{\partial x^2} [D(x) W(x, t|x_0, 0)] - \frac{\partial}{\partial x} [f(x) W(x, t|x_0, 0)]$$

gdzie  $f(x)$  jest związane z siłami zewnętrznymi, a  $D(x)$  — ze współczynnikiem dyfuzji, jest dziś powszechnie używane w bardzo wielu dziedzinach, między innymi w kinetyce

<sup>6</sup> Równanie to opublikował po raz pierwszy L. Bachelier w r. 1900 w pracy zatytułowanej *Théorie de la speculation*, dotyczącej analizy flutacji cen na giełdzie, oraz niezależnie, M. Smoluchowski w r. 1906. W formalnej teorii procesów stochastycznych (sformułowanej w pełni przez Kolmogorowa) wyprowadza się je jako tożsamość wynikającą z definicji procesu Markowa.

<sup>7</sup> „Prawdziwe” równanie Fokkera–Plancka dla ruchu Browna jest równaniem na łączną gęstość prawdopodobieństwa  $P(v, x, t)$  dla prędkości i położenia cząstki Browna. Równanie Smoluchowskiego otrzymuje się z równania Fokkera–Plancka przez adiabatyczną eliminację prędkości (zakładając, że rozkład Maxwella dla prędkości ustala się dostatecznie szybko) lub jako granicę tego równania dla ruchu przetłumionego, tzn. zaniedbując człon bezwładnościowy w równaniach ruchu (Newtona) cząstki Browna. Innymi słowy, równanie Smoluchowskiego jest zredukowanym równaniem Fokkera–Plancka. Należy tu jeszcze dodać, że główna idea w teorii Einsteina–Smoluchowskiego ruchów Browna polegała na zauważeniu, iż właściwą miarą ruchu jest nie prędkość  $v = \dot{x}$  cząstek zawiesziny, jak przyjmowano wcześniej, lecz wartość kwadratu przesunięcia  $x$  od stanu początkowego  $x_0[(\Delta x)^2]$ , gdyż nie można poprawnie zdefiniować prędkości pojedynczej cząstki Browna. Prędkości występujące w równaniu Fokkera–Plancka można interpretować jedynie w sensie wielkości średnich.

chemicznej, w teorii magnetycznego rezonansu jądrowego itd. Warto zauważyć, że równanie to jest izomorficzne z równaniem dyfuzji w polu sił, jest to jednak dyfuzja prawdopodobieństwa — Smoluchowski był pierwszym, który spostrzegł, że do prawdopodobieństwa można zastosować fenomenologiczne prawa dyfuzji makroskopowej, „bo przecież proces dyfuzji jest właśnie wynikiem superpozycji ruchów Browna poszczególnych drobin substancji”. Dziś wiemy, że warunkiem stosowalności równania Smoluchowskiego jest, by zaburzający proces losowy miał charakter procesu Wienera, tzn. by szum był białym szumem gaussowskim.

Oba równania Smoluchowskiego są dziś jednymi z fundamentalnych równań teorii procesów stochastycznych.

W swych późniejszych pracach Smoluchowski zajmował się między innymi procesami koagulacji jako procesami o charakterze podobnym do ruchu Browna. Z wyników uzyskanych przez niego do dziś są używane formuły określające zachowanie czasowe stężenia cząstek reagujących (na przykład zlepiających się ze sobą) dla procesów ograniczonych dyfuzyjnie

$$C(t) \sim \begin{cases} t^{-1} & \text{dla } d = 3 \\ \ln t/t & \text{dla } d = 2 \\ t^{-1/2} & \text{dla } d = 1 \end{cases}$$

nazywane zachowaniem typu Smoluchowskiego ( $d$  oznacza wymiar przestrzeni).

Marian Smoluchowski zmarł w Krakowie 5 września 1917 r. Jest najwybitniejszym i najlepiej dziś znanym w świecie nauki fizykiem polskim. Jego prace — zwłaszcza te opublikowane w ostatnich latach życia — są nadal cytowane, zaś uhonorowane nagrodami Nobla z fizyki i z chemii (w r. 1926) pomiary ruchów Browna i sedymentacji przeprowadzone przez Perrina i Svedberga były oparte na rachunkach teoretycznych i sugestiach Smoluchowskiego. Wspomnienia pośmiertne o nim ogłosili m.in. Albert Einstein i Arnold Sommerfeld, podkreślając jego zasługi dla rozwoju teorii atomistycznej.

Jego kolega uniwersytecki z katedry fizyki teoretycznej, profesor Władysław Natanson, pisał o nim tak:

Pragnąłbym [...] o niepokoju jego myśli przenikliwej powiedzieć, o pracy nieprzerwanej, ogromnej, którą się wciąż zasilala. Rad byłbym wskrzesić tu wdzięk jego życia, miękkość serca rycerską, złączoną z wykwintem dobroci. Chciałbym odtworzyć dziwny urok jego osoby; przypomnieć, jak powściągliwy był, skromny, jak prześlicznie nieśmiały; jak pełny przecież był zawsze czystej, niemal bezwiednej radości. Winien byłbym zapisać, jak poważano Smoluchowskiego, jak go kochano dokoła.

## Bibliografia

- Essays devoted to scientific and didactic work of M. Smoluchowski*, ed. B. Średniawa, „Zeszyty Naukowe UJ. Fizyka” 33, Kraków 1991.
- Oeuvres de M. Smoluchowski*, wyd. W. Natanson, Kraków 1924–1928.
- Polish men of science. Marian Smoluchowski, his life and scientific work*, ed. R. S. Ingarden, Warszawa 1986.
- Z. Radwańska-Paryska, W. H. Paryski, *Encyklopedia tatrzańska*, Warszawa 1973.
- B. Średniawa, *Rola współpracy Mariana Smoluchowskiego i Teodora Svedberga w prowadzonych w pierwszych latach XX wieku badaniach ruchów Browna i fluktuacji*, „Postępy Fizyki” 42, 1991, s. 423.
- A. Teske, *Marian Smoluchowski, życie i twórczość*, Warszawa 1955; wersja niem.: *Marian Smoluchowski, Leben und Werk*, „Monografie PAN” CVII, Wrocław 1977.
- Wkład polskich uczonych do fizyki statystyczno-molekularnej*, wyd. T. Piech, Wrocław 1962.
- W skałach i lodach świata, I: Na szczytach gór Europy*, red. K. Sayssé-Tobiczyk, Warszawa 1959.

Andrzej Fuliński